

УДК 677.017

В.Г. ЗДОРЕНКО, С.В. БАРИЛКО, В.К. ЧОРНОМОРЧЕНКО, Н.М. ЗАЩЕПКИНА

Київський національний університет технологій та дизайну

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗГАСАННЯ АМПЛІТУД УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ ПРИ
КОНТРОЛІ ТКАНИН З РІЗНОЮ ПОВЕРХНЕВОЮ ЩІЛЬНІСТЮ**

Розглянуто залежності амплітуд ультразвукових хвиль, тієї, яка проходить крізь тканину, та іншої, що відбивається від неї, з врахуванням згасання. Обґрунтовано, що згасанням ультразвукового сигналу для більшості тканин можна знехтувати. Наведено результати досліджень впливу поверхневої щільності тканини на згасання ультразвукового сигналу.

Ключові слова: *поверхнева щільність тканини, ультразвуковий сигнал, амплітуда хвилі.*

На сьогоднішній день є необхідність у безконтактному ультразвуковому контролі [1] різних технологічних параметрів тканин безпосередньо в процесі їхнього виробництва. Враховуючи, що амплітуда є параметром ультразвукових хвиль, за допомогою якого можна точно визначати різні технологічні параметри тканин, зокрема поверхневу щільність, то в такому випадку постає необхідність у дослідженні згасання самого ультразвукового сигналу в матеріалах, що контролюються.

Об'єкти та методи дослідження

За допомогою ультразвукового амплітудного методу [2] можна визначати один з основних технологічних параметрів тканин, яким є поверхнева щільність, а також знаючи як згасає амплітуда хвиль, які взаємодіють з цими тканинами, можна забезпечити оперативний технологічний контроль цього параметру в процесі виробництва. Контролювати зазначений технологічний параметр в реальних умовах виробництва можна тільки проаналізувавши як згасають амплітуди хвиль, одна, яка проходить крізь тканину, а інша, що відбивається від неї, з врахуванням різних дестабілізуючих факторів, які можуть виникати під час технологічного процесу.

Постановка завдання

Для того, щоб точно визначати поверхневу щільність необхідно враховувати, що ультразвуковий сигнал, який проходить крізь контрольовану тканину представляє собою суперпозицію сигналів [3], один з яких пройшов крізь пори, а інший, який пройшов безпосередньо крізь самі нитки. Оскільки більша частина ультразвукових хвиль проходить в основному крізь пори тканини [4], то в такому випадку загальне згасання ультразвукового сигналу буде меншим ніж згасання хвиль в схожому однорідному матеріалі. Виходячи з наведеного, необхідно визначити на скільки відрізняється амплітуда ультразвукового сигналу, який пройшов, або відбився від контрольованої тканини, з врахуванням згасання від амплітуди сигналу без його врахування.

Результати та їх обговорення

Амплітуди ультразвукових сигналів, один, який проходить крізь контрольовану тканину, а інший, що відбивається від неї, змінюються в залежності від зміни відстаней між центрами ниток тканин (із

збільшенням відстаней між центрами ниток при однакових їхніх діаметрах, пористість тканини збільшується).

З закону збереження енергії випливає, що сума енергій ультразвукових сигналів, один, який пройшов крізь тканину, а інший, що відбився від неї, чисельно дорівнює енергії сигналу, який випромінюється п'єзоперетворювачем, або ще можна подати цей закон у наступному вигляді:

$$|W|^2 + |V|^2 = 1, \quad (1)$$

де $|W|$, $|V|$ – модулі комплексних коефіцієнтів проходження та відбиття ультразвукових хвиль, що пройшли крізь тканину, та хвиль, які відбилися від неї, або їхні амплітуди.

Рівняння (1) справедливе для більшості контрольованих тканин, проте для деяких з них, до складу яких входять синтетичні нитки, може відбуватися згасання ультразвукового сигналу. Вираз (1) буде меншим за одиницю, що впливатиме на інформативність сигналу, тому доцільно розглянути та проаналізувати цей випадок детальніше.

Модуль $|W|$ комплексного коефіцієнту проходження з врахуванням згасання для тканин, пов'язавши його безпосередньо з поверхневою щільністю η , можна записати так:

$$|W| = \left(\left(\left(ch \frac{\alpha K \eta \cos \nu}{\pi \rho_2} + \frac{\rho_2 c_2}{2 \rho_1 c_1} \cdot sh \frac{\alpha K \eta \cos \nu}{\pi \rho_2} \right) \cdot \cos \frac{2 K \eta f \cos \nu}{\rho_2 c_2} \right)^2 + \right. \\ \left. + \left(\left(sh \frac{\alpha K \eta \cos \nu}{\pi \rho_2} + \frac{\rho_2 c_2}{2 \rho_1 c_1} \cdot ch \frac{\alpha K \eta \cos \nu}{\pi \rho_2} \right) \cdot \sin \frac{2 K \eta f \cos \nu}{\rho_2 c_2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}^{-1}. \quad (2)$$

де α – коефіцієнт згасання ультразвукового сигналу в матеріалі тканини;

K – коефіцієнт, що враховує відстані та об'єм повітря між нитками тканини та їх деформацію в її структурі;

f – частота ультразвукових коливань;

ρ_1, c_1 – щільність повітря (навколишнього середовища) та швидкість розповсюдження у ньому ультразвукової хвилі;

ρ_2, c_2 – щільність тканини та швидкість розповсюдження у ній ультразвукової хвилі;

ν – кут між вектором ультразвукових хвиль (ультразвукові хвилі, які відбиваються від зовнішньої межі ниток тканини, але проходять крізь неї) та самою тканиною.

Якщо враховувати, що для більшості тканин виконується умова

$$2 K \eta f \cos \nu / \rho_2 c_2 \ll 1,$$

то вираз (2) можна подати ще так:

$$|W| = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \alpha \frac{c_2}{\rho_1 c_1} \frac{K \eta \cos \nu}{2\pi}\right)^2 + \left(\frac{K \eta f \cos \nu}{\rho_1 c_1}\right)^2}}. \quad (3)$$

Модуль $|V|$ комплексного коефіцієнту відбиття з врахуванням згасання для тканин, пов'язавши його безпосередньо з поверхневою щільністю η , можна записати як:

$$\begin{aligned} |V| = & \left(1 + \left(1 - \left(ch \frac{\alpha K \eta \cos \nu}{\pi \rho_2} + \frac{\rho_2 c_2}{2 \rho_1 c_1} \cdot sh \frac{\alpha K \eta \cos \nu}{\pi \rho_2}\right) \cdot 2 \cos \frac{2 K \eta f \cos \nu}{\rho_2 c_2}\right) \times \right. \\ & \times \left(\left(\left(ch \frac{\alpha K \eta \cos \nu}{\pi \rho_2} + \frac{\rho_2 c_2}{2 \rho_1 c_1} \cdot sh \frac{\alpha K \eta \cos \nu}{\pi \rho_2} \right) \cdot \cos \frac{2 K \eta f \cos \nu}{\rho_2 c_2} \right)^2 + \right. \\ & \left. \left. + \left(\left(sh \frac{\alpha K \eta \cos \nu}{\pi \rho_2} + \frac{\rho_2 c_2}{2 \rho_1 c_1} \cdot ch \frac{\alpha K \eta \cos \nu}{\pi \rho_2} \right) \cdot \sin \frac{2 K \eta f \cos \nu}{\rho_2 c_2} \right)^2 \right)^{-1} \right)^{\frac{1}{2}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Враховуючи виконання для тканин умови $2 K \eta f \cos \nu / \rho_2 c_2 \ll 1$, залежність (4) можна записати наступним чином:

$$\begin{aligned} |V| = & \left(1 + \left(1 - 2 \left(ch \frac{\alpha K \eta \cos \nu}{\pi \rho_2} + \frac{\rho_2 c_2}{2 \rho_1 c_1} \cdot sh \frac{\alpha K \eta \cos \nu}{\pi \rho_2}\right) \right) \times \right. \\ & \times \left(\left(ch \frac{\alpha K \eta \cos \nu}{\pi \rho_2} + \frac{\rho_2 c_2}{2 \rho_1 c_1} \cdot sh \frac{\alpha K \eta \cos \nu}{\pi \rho_2} \right)^2 + \right. \\ & \left. \left. + \left(\left(sh \frac{\alpha K \eta \cos \nu}{\pi \rho_2} + \frac{\rho_2 c_2}{2 \rho_1 c_1} \cdot ch \frac{\alpha K \eta \cos \nu}{\pi \rho_2} \right) \cdot \frac{2 K \eta f \cos \nu}{\rho_2 c_2} \right)^2 \right)^{-1} \right)^{\frac{1}{2}}, \end{aligned} \quad (5)$$

якщо для тканин також виконується нерівність $\alpha K \eta \cos \nu / \pi \rho_2 \ll 1$, тоді вираз (5) можна подати так:

$$|V| = \sqrt{1 - \frac{1 + \alpha \frac{c_2}{\rho_1 c_1} \cdot \frac{K \eta \cos \nu}{\pi}}{\left(1 + \alpha \frac{c_2}{\rho_1 c_1} \cdot \frac{K \eta \cos \nu}{2\pi}\right)^2 + \left(2\alpha \frac{f}{\pi \rho_2^2 c_2} \frac{K \eta \cos \nu}{\rho_1 c_1} + \frac{K \eta f \cos \nu}{\rho_1 c_1}\right)^2}}. \quad (6)$$

На рис. 1 та рис. 2 показано як згасають ультразвукові сигнали за енергією, один, який пройшов крізь контрольовану тканину, а інший, що відбився від неї, при різних значеннях коефіцієнту згасання α для тканин з середніми відстанями між центрами ниток 0,6 мм.

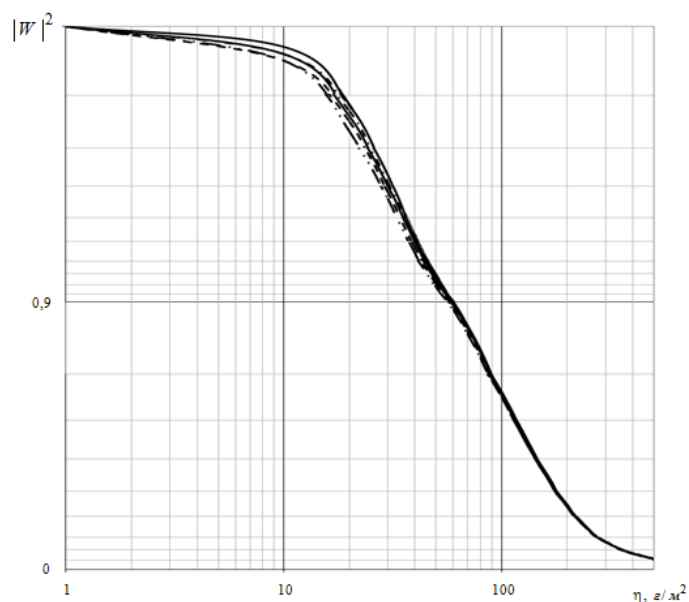


Рис. 1. Залежності коефіцієнта проходження $|W|^2$ за енергією від поверхневої щільності η тканин, при різних значеннях α

— $\alpha = 0$; — — $\alpha = 3 \text{ м}^{-1}$; — • — $\alpha = 5 \text{ м}^{-1}$; - - $\alpha = 10 \text{ м}^{-1}$; — · — $\alpha = 15 \text{ м}^{-1}$

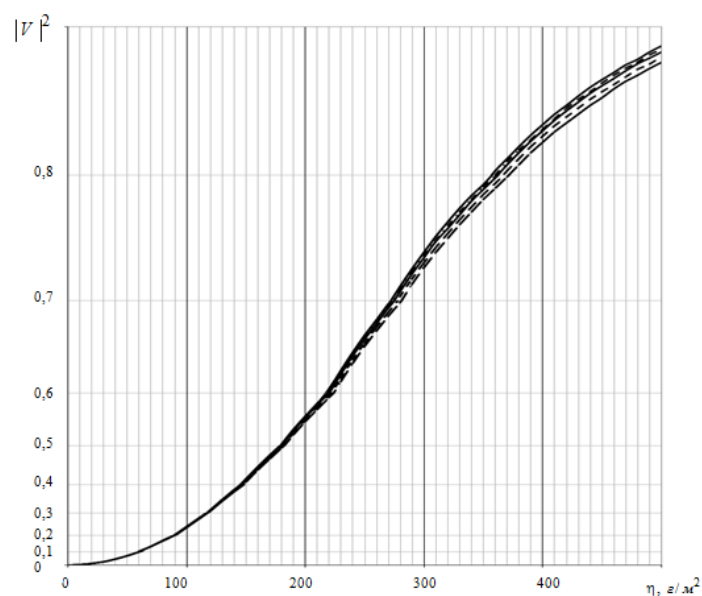


Рис. 2. Залежності коефіцієнта відбиття $|V|^2$ за енергією від поверхневої щільності η тканин, при різних значеннях α

— $\alpha = 0$; — — $\alpha = 3 \text{ м}^{-1}$; — • — $\alpha = 5 \text{ м}^{-1}$; - - $\alpha = 10 \text{ м}^{-1}$; — · — $\alpha = 15 \text{ м}^{-1}$

Як видно з графіків ультразвукових сигналів, згасання при проходженні та відбитті хвиль вносить малу похибку при визначенні поверхневої щільності η тканини. Вплив згасання у вигляді похибки, найчастіше, не перевищує 1%. При цьому, не слід забувати, що на амплітуду ультразвукових коливань сильно впливають структурні показники тканини та пори між її нитками, що необхідно враховувати.

Відстані та розміри пор між нитками тканини можна визначити також за допомогою ультразвукових хвиль [5], а відносні зміни їх амплітуд, що спричиняються згасанням сигналів, можна подати так:

$$\delta_{|W|} = \frac{|W| - |W|_0}{|W|_0} \cdot 100\% = \left(|W| \sqrt{1 + \left(\frac{K \eta f \cos v}{\rho_1 c_1} \right)^2} - 1 \right) \cdot 100\%, \quad (7)$$

та

$$\delta_{|V|} = \frac{|V| - |V|_0}{|V|_0} \cdot 100\% = \left(|V| \sqrt{1 + \left(\frac{\rho_1 c_1}{K \eta f \cos v} \right)^2} - 1 \right) \cdot 100\%, \quad (8)$$

де $\delta_{|W|}$ – відносна зміна модуля комплексного коефіцієнту проходження ультразвукових хвиль, яка спричинена згасанням; $\delta_{|V|}$ – відносна зміна модуля комплексного коефіцієнту відбиття ультразвукових хвиль, яка спричинена згасанням; $|W|_0$ – модуль комплексного коефіцієнту проходження без врахування згасання; $|V|_0$ – модуль комплексного коефіцієнту відбиття без врахування згасання.

Показані відносні зміни $\delta_{|W|}$, $\delta_{|V|}$ від параметру $\eta / \rho_2 \lambda_2$ на рис. 3 а, б де λ_2 – довжина ультразвукової хвилі в тканині.

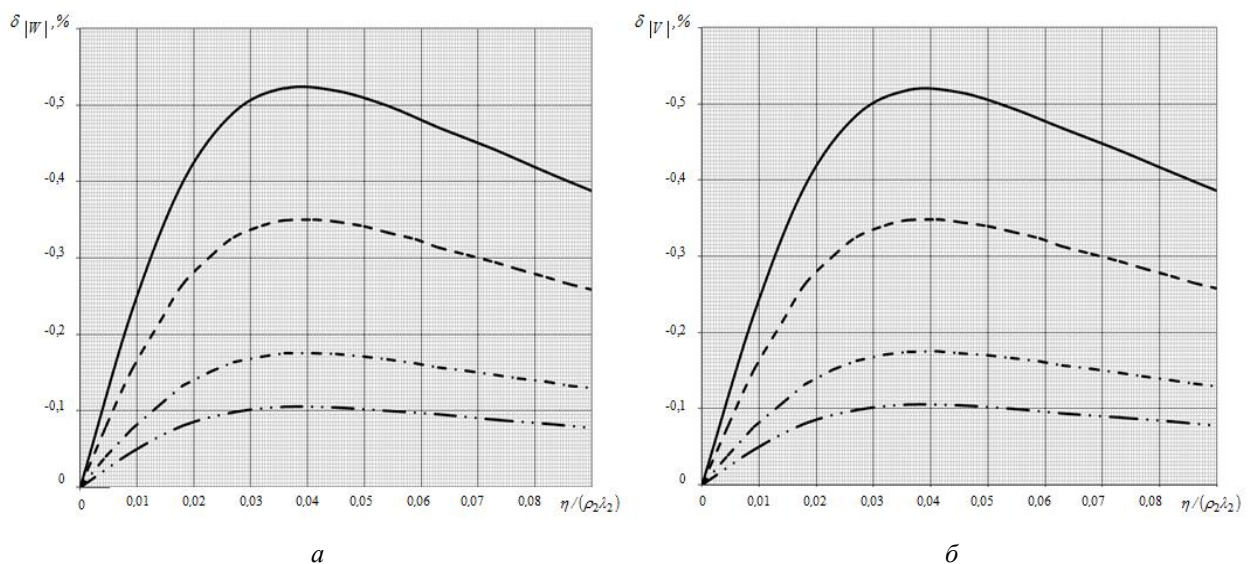


Рис. 3. Залежності відносних змін $\delta_{|W|}$ а); $\delta_{|V|}$ б)

від параметру $\eta / \rho_2 \lambda_2$, при різних значеннях коефіцієнту згасання α

— . . — $\alpha = 3 \text{ м}^{-1}$; — — — $\alpha = 5 \text{ м}^{-1}$; — — — $\alpha = 10 \text{ м}^{-1}$; — — — $\alpha = 15 \text{ м}^{-1}$

Висновки

Проведений аналіз показав, що вплив згасання у вигляді похибки, найчастіше, не перевищує 1% для більшості тканин, тому при контролі поверхневої щільності ним можна знехтувати.

Для тканин у яких пори між їхніми нитками зменшуються згасання ультразвукових сигналів, один, який проходить крізь тканину, а інший, що відбивається, навпаки може збільшуватися.

Також показано, що вибором частоти ультразвукових коливань можна зменшити згасання в тканині при необхідності.

Список використаної літератури

1. Шкарлет Ю.М. Бесконтактные методы ультразвукового контроля / Ю.М. Шкарлет. – М.: Машиностроение, 1974. – 57 с.
2. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах / Л. М. Бреховских. – М.: Наука, 1973. – 343 с.
3. Здоренко В.Г. Дослідження безконтактного ультразвукового контролю поверхневої щільності тканин полотняного переплетіння / В.Г. Здоренко, С.В. Барилко // Вісник КНУТД. – 2011. – №4(60). – С. 27–31.
4. Здоренко В. Г. Ультразвуковий контроль поверхневої щільності тканин / В.Г. Здоренко, С.В. Барилко // Вісник ХНУ. – 2012. – №1. – С. 82–88.
5. Здоренко В.Г. Визначення зміни пористості тканини за зміною амплітуди відбитої ультразвукової хвилі / В.Г. Здоренко, С.В. Барилко, Н. М. Зашепкіна, В.Ю. Санніков, В.К. Чорноморченко // Вісник КНУТД. – 2012. – №3. – С. 122–127.

Стаття надійшла до редакції 01.04.2013

Исследование затухания амплитуд ультразвуковых волн при контроле тканей с разной поверхностной плотностью

Здоренко В.Г., Барылко С.В., Чорноморченко В.К., Зашепкина Н.Н.
Киевский национальный университет технологий и дизайна

Рассмотрены зависимости амплитуд ультразвуковых волн, той, которая проходит сквозь ткань, и другой, что отражается от неё, с учетом затухания. Обосновано, что затуханием ультразвукового сигнала для большинства тканей можно пренебречь. Приведены результаты исследований влияния поверхностной плотности ткани на затухание ультразвукового сигнала.

Ключевые слова: поверхностная плотность ткани, ультразвуковой сигнал, амплитуда волны.

Research of attenuation of amplitudes of ultrasonic waves at the control of fabrics with different surface density

V. Zdorenko, S. Barylko, V. Chornomorchenko, N. Zashchepkina
Kiev National University of Technologies and Design

In article considered dependences of amplitudes of ultrasonic waves, one of them, that passing through the fabric, and other, that reflecting from the fabric, with attenuation. Attenuation of ultrasonic signal for most fabrics can be neglected and that is proved. Results researches of influence of surface density of fabric on attenuation of ultrasonic signal are resulted.

Keywords: surface density of fabric, ultrasonic signal, amplitude wave.